



Mantenimiento y puesta en marcha de un gasificador tipo downdraft de 40 kg/h

Maintenance and commissioning of a 40 kg/h downdraft type gasifier

Manutenção e comissionamento de um gaseificador tipo downdraft de 40 kg/h

Félix Antonio García-Mora ^I

felix.garcia@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5814-3694>

Edwin Ángel Jácome-Domínguez ^{II}

edwin.jacome@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2870-892X>

Fausto Ulpiano Caicedo-Benavides ^{III}

fcaicedo@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9289-6286>

Mishell Guadalupe Echeverría-Núñez ^{IV}

michellecheverria1998@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6541-2984>

Jeyson Emanuel Lombeida-Ramo ^{VI}

emanuellombeida1@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7601-989X>

Correspondencia: edwin.jacome@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

***Recibido:** 23 de marzo de 2023 ***Aceptado:** 17 de abril de 2023 * **Publicado:** 29 de mayo de 2023

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.
- IV. Investigador Independiente, Riobamba, Ecuador.
- V. Investigador Independiente, Riobamba, Ecuador.

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo describir la habilitación y mantenimiento del sistema gasificador tipo tiro descendente. Se estableció el estado de situación inicial y se realizó un plan de mantenimiento preventivo. Para ello se ejecutaron acciones de: limpieza, reparación, implementación y cambio de elementos en mal estado, se instalaron dos tableros de control el primero con la finalidad de obtener datos de temperatura y así mismo una inspección breve del funcionamiento mediante la instrumentación. Y el segundo para controlar la alimentación moderada de biomasa al cilindro reactor. Para manejar de manera adecuada los datos y activos se codificaron los elementos aplicando la norma ISO-14224-2016 referente a la recolección e intercambio de datos de confiabilidad en mantenimiento de equipos dirigidos a industrias de petróleo, petroquímicas y gas natural. Tras la habilitación del sistema gasificador se obtuvo syngas, siendo una de las características más importantes la obtención de un gas limpio y en un volumen adecuado, se ingresó 75kg de materia prima entre aserrín, carbón vegetal y madera generando 310 minutos de syngas que se evidenció mediante una llama busen de color amarillenta rojiza fuerte que pese a las variaciones climáticas generadas durante el tiempo de combustión se mantuvo encendida. Se concluyó que, mediante la adecuación del equipo, ingreso de biomasa e inyección de agente oxidante se pudo obtener el fluido esperado con componentes intrínsecos adecuados. Se recomienda el análisis de los niveles de calidad y composición exacta del gas resultante pues lo ejecutado en este trabajo contiene datos empíricos pudiendo ser éstos caracterizados de mejor manera.

Palabras Claves: Sistema Gasificador; Tiro Descendente; Plan de Mantenimiento; Gas Síntesis.

Abstract

The aim of this paper is to describe the commissioning and maintenance of the downdraft type gasifier system. The initial state of the situation was established and a preventive maintenance plan was carried out. For this, actions were carried out: cleaning, repair, implementation and change of elements in poor condition; Two control panels were installed, the first with the purpose of obtaining temperature data and likewise a brief inspection of the operation through the instrumentation. And the second to control the moderate feeding of biomass to the reactor cylinder. To properly manage data and assets, the elements were codified applying the ISO-14224-2016 standard regarding the collection and exchange of reliability data in maintenance of equipment

aimed at the oil, petrochemical and natural gas industries. After enabling the gasification system, syngas was obtained, being one of the most important characteristics the obtaining of a clean gas and in an adequate volume, 75kg of raw material was entered between sawdust, charcoal and wood, generating 310 minutes of syngas that was evidenced by a busen flame with a strong reddish yellowish color that despite the climatic variations generated during the combustion time, it remained lit. It was concluded that, by adapting the equipment, entering biomass and injecting an oxidizing agent, it was possible to obtain the expected fluid with adequate intrinsic components. The analysis of the quality levels and exact composition of the resulting gas is recommended, since what has been carried out in this work contains empirical data and these can be better characterized.

Keywords: Gasifier system; Downdraft; Maintenance plan; Synthesis Gas.

Resumo

O objetivo deste artigo é descrever o comissionamento e a manutenção do sistema gaseificador tipo downdraft. Foi estabelecido o estado inicial da situação e executado um plano de manutenção preventiva. Para isso foram realizadas ações: limpeza, reparação, colocação e mudança de elementos em mau estado, foram instalados dois quadros de controlo, o primeiro com o objetivo de obter dados de temperatura e também uma breve inspeção do funcionamento através da instrumentação. E o segundo para controlar a alimentação moderada de biomassa ao cilindro do reator. A fim de gerenciar adequadamente os dados e ativos, os elementos foram codificados aplicando-se a norma ISO-14224-2016 referente à coleta e troca de dados de confiabilidade na manutenção de equipamentos voltados para as indústrias de petróleo, petroquímica e gás natural. Após a autorização do sistema de gaseificação, foi obtido o gás de síntese, sendo uma das características mais importantes a obtenção de um gás limpo e em volume adequado, foram inseridos 75kg de matéria-prima entre serragem, carvão e madeira, gerando 310 minutos de gás de síntese que foi evidenciado por meio de uma forte chama avermelhada amarelada que, apesar das variações climáticas geradas durante o tempo de combustão, permaneceu acesa. Concluiu-se que, através da adequação do equipamento, entrada de biomassa e injeção de agente oxidante, foi possível obter o fluido esperado com componentes intrínsecos adequados. A análise dos níveis de qualidade e composição exata do gás resultante é recomendada uma vez que o que foi realizado neste trabalho contém dados empíricos, que podem ser melhor caracterizados.

Palavras-chave: Sistema gaseificador; Corrente descendente; Plano de manutenção; Gás de Síntese.

Introducción

Actualmente la producción de biocombustibles a través del uso de biomasa es uno de temas más interesantes debido a la necesidad de mitigar el impacto ambiental y las enfermedades que significa usar combustibles de origen fósil que son comúnmente derivados del petróleo. Durante varios años se han investigado alternativas que ayuden a mejorar el proceso de generación de combustibles con menos impacto ambiental y haciendo uso de recursos fáciles de encontrar y producir, dentro de estas alternativas se encuentra la gasificación que es un proceso termoquímico mediante el cual se utiliza de biomasa como materia prima misma que siendo sometida a un proceso puede generar gas síntesis.

La importancia de analizar este tema surge con la necesidad de buscar formas que posibiliten la ejecución de proyectos alternativos como lo es la gasificación que no es más que un proceso termoquímico mediante el cual se obtiene una mezcla de gases, dicho gas resultante deberá contener componentes específicos que lo califiquen como eficiente o ineficiente, esto dependerá del tipo de biomasa que se utilice, el equipo en que se haga la transformación y el tipo de agente oxidante empleado.

En nuestro país se han desarrollado proyectos de obtención de biocombustibles apoyados por el gobierno basados en la extracción de aceite de piñón con resultados de generación de electricidad, se ha usado la caña de azúcar también como materia prima obteniendo alcohol anhidro carburante componente que se usa en la gasolina y ha sido distribuida en varios sectores del país. Del mismo modo se han realizado investigaciones de generación de biocombustibles mediante un proceso de gasificación en concreto que usa residuos urbanos para obtenerlo, como resultado se ha obtenido un gas con las características adecuadas caloríficamente hablando.

En este trabajo se pretende habilitar el sistema de gasificación que se encuentra ubicado en la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, sabiendo de antemano que el sistema en su totalidad se encuentra deteriorado debido a que está expuesto a los diversos cambios climáticos, se pretende reparar los elementos en mal estado, cambiar otros y mejorar algunos subsistemas mediante controladores, de igual forma se realizará un plan de mantenimiento preventivo que describirá actividades sencillas para conservar el estado funcional del equipo una vez sea reparado y puesto

en marcha. Todas estas actividades se las ejecutará con el fin de generar biogás con biomasa para que este biocombustible más adelante sea usado como principio de energía en otros procesos relacionados tratando de mitigar parte del impacto ambiental producido por fluidos de origen fósil. Thomas Shirley en el año de 1959, realizó una primera investigación basada en experimentos que servían para generar gas hidrógeno carburado, sustancia que era utilizada para fines domésticos como la calefacción y el alumbrado, estos términos fueron ampliamente utilizados en Gran Bretaña durante los años 1850 y 1870, sin embargo, la demanda de combustible había sido satisfecha por la industria petroquímica en los años 1940. Para 1970 se buscaban nuevas alternativas de fuentes de combustible siendo la gasificación una de ellas, este hecho fue argumentado por varios autores que consideraron que en la naturaleza existe mucha materia disponible de biomasa alojada en plantas y animales (Jahromi et al., 2021, p.18).

En cuanto a la tecnología que existe para la conversión energética de biomasa, existen algunos tipos de gasificadores entre los más importantes están:

Gasificador de lecho fijo, normalmente se los utiliza en sistemas con eficiencias globales cercanas al 20% es decir alcanzan una conversión de 1,2 kg para generar 1 kWh, una de las características del gas que produce este gasificador es que crea poco contenido de alquitrán pudiendo purificarlo mediante tanques de filtración, se recomienda utilizar biomasa en pequeñas cantidades con baja humedad. Por otro lado, está el gasificador de lecho fluidizado siendo su principal ventaja la generación de electricidad a gran escala pudiendo llegar hasta los 100 kWh con una baja producción de alquitranes y cenizas, este tipo de equipo logra la combustión con masa en suspensión consiguiendo trabajar con distintos tipos de biomasa. Así también los gasificadores de lecho móvil Downdraft son equipos que producen pequeñas cantidades de electricidad menores a 1 MW, sus aplicaciones más relativas se sitúan en motores y turbinas de gas de combustión interna su principal desventaja es la producción de ceniza.

Finalmente, los gasificadores de lecho móvil de corriente ascendente son sistemas de potencia entre 4 a 6 MW, producen un elevado contenido de alquitrán y se les imposibilita la generación de gas síntesis de forma permanente (Blanco, 2021, p.619).

El proceso de gasificación de calor es el método económico más ecológico y factible para producir energía útil con menos emisiones de dióxido de carbono. El uso de biomasa agrícola tiene un futuro prometedor en la fertilidad sostenible. Los estudios experimentales y de análisis estudian la viabilidad de usar varios tipos de materias primas, como conchas de arroz, residuos de madera,

cáscara de maní entre otros. Se debe aseverar el funcionamiento de un gasificador por su capacidad para acomodar diferentes tipos de biomasa como materia prima. Las cáscaras de productos agrícolas como nueces, avellanas, almendras y semillas de girasol presentan mejores características de combustión y pueden utilizarse como combustibles sólidos potenciales para aplicaciones a pequeña escala (Murugan y Sekhar, 2021, p.1).

Actualmente uno de los aspectos económicos más notables en el mundo es la producción de energía y con el paso del tiempo el aumento estimado de la necesidad energética entre los años 2017 y 2040 será del 38,33 %, una de las opciones para resolver estos déficits energéticos se encuentra estrechamente ligada a la producción de combustibles de origen renovable que servirán también para atenuar la gravedad ambiental y fluctuaciones que varían con el crecimiento de la población y el uso permanente de combustibles fósiles, tras realizar estudios estadísticos y políticos se pretende hacer uso de energías de procedencia renovable por medio de gasificadores que trabajen con biomasa y que no interfieran con el calentamiento global que afecta a la sociedad en general (Jahromi et al., 2021 p.4).

Según algunos estudios uno de los países con mayor producción de biocombustibles a través de biomasa es Estados Unidos. En el año 2018 este país produjo una cantidad de 38 millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo como unidad de energía, siguiéndolo con 21 millones de toneladas Equivalentes de Petróleo Brasil. Es importante indicar que los biocombustibles obtenidos son a base de plantas (Boris, 2021).

En nuestro país Ecuador ubicado en el Sur de América también se ha trabajado en proyectos encaminados a la producción de biocombustibles utilizando como materia prima biomasa, el gobierno ha invertido en proyectos investigativos para la generación de biocombustibles de segunda generación como lo es la gasificación de Residuos Sólidos Urbanos (URS), al mando del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE). Este proceso se llevó a cabo con la intervención de residuos orgánicos que tras la combustión se obtuvo gas síntesis, El IIGE realizó una experimentación en Santo Domingo de los Tsáchilas en donde se instaló una planta piloto que probó la capacidad de generación de biogás a partir de los residuos urbanos con la obtención de energía continua, en el reactor se utilizó gas vegetal de fuentes como la palma africana, la caracterización del gas de síntesis llegó a concentraciones de alrededor del 10% de hidrógeno y 43 % de monóxido de carbono, siendo un gas de fácil combustión (Boris, 2021).

Considerando lo antes mencionado y la problemática ambiental que el uso exagerado de combustibles sólidos ha generado al medio ambiente es necesario contemplar la posibilidad de poner en marcha el gasificador construido tiempo atrás en la ESPOCH, Facultad de Mecánica, con el objetivo de obtener gas para a continuación ser utilizado en otros procesos amigables para el planeta, esto se realizará usando residuos como biomasa de forma sólida para posteriormente convertirla en un gas combustible rico en monóxido de carbono e hidrógeno generado por un proceso termoquímico que se desarrolla en una cámara sellada que normalmente trabaja por debajo de la presión atmosférica (Herrera, 2019, p.20).

Metodología

Para iniciar con el proceso de habilitación del gasificador tipo Downdraft de la ESPOCH que tiene como finalidad generar gas a partir de biomasa y previo al desmontaje de elementos a continuación se describen y caracterizan los elementos necesarios para un correcto funcionamiento del sistema, sabiendo que algunos de ellos no se encuentran físicamente en el equipo y otros no están hábiles para cumplir su función requerida. Partiendo desde el subsistema reactor, siguiendo con el subsistema de instrumentación y terminando con el subsistema de alimentación.

Para lograr un mejor manejo de información se ha dividido del sistema gasificador en tres subsistemas que se muestran a continuación:

- Subsistema reactor
- Subsistema de instrumentación
- Subsistema de alimentación

Subsistema reactor

Si bien es cierto, la obtención del gas se da en la cámara de combustión del equipo, tras pasar la biomasa por la zona de secado, pirólisis, gasificación y finalmente la etapa de oxidación reacciones que dan como resultado el gas síntesis esto con ayuda del aire que actúa como agente oxidante y es inyectado por tubería mediante un blower que es el encargado de abastecer el fluido necesario al interior del cilindro para llevar a cabo las reacciones.

El reactor es un cuerpo cilíndrico robusto asentado sobre una caja rectangular ambos elementos contruidos con material resistente a altas temperaturas, en el interior del cilindro se aloja una malla con agujeros que sirve como aislante del calor, hay tuberías para el ingreso de aire y salida del

syngas, y una línea para realizar la purga de los desechos; la parte rectangular del sistema internamente se encuentra cubierta por material refractario en donde se acumulan las cenizas producto de la combustión de la biomasa, dando lugar a la existencia de dos compuertas que permiten realizar el proceso de limpieza periódica para evitar obstrucciones excesivas de desechos.

Subsistema de instrumentación

En este subsistema se consideran aquellos elementos que intervienen tanto en la medición de temperatura con la que trabaja el sistema en general, para ello se manejan elementos como termocuplas, RTDs.

Para controlar el proceso de manera adecuada se necesita tomar medidas de temperatura en cada una de las etapas para analizar la calidad de gas que se obtendrá posteriormente. Las termocuplas y RTD que intervienen en el proceso deben ser adecuadas para soportar las temperaturas generadas. Por un lado, los RTD de tipo Pt100 son colocados en las zonas de secado, pirólisis y combustión y las termocuplas se encuentran alojadas en la zona de reducción y cenizas en donde según experimentos anteriores se genera una temperatura más elevada a diferencia de las demás zonas.

Para controlar desde un mismo punto los resultados de las temperaturas es necesario realizar el diseño y montaje de un tablero, con controladores de temperatura y elementos de protección que salvaguarden el sistema y sus operadores, permitiendo que las medidas generadas en los controladores sean analizadas de manera adecuada.

Subsistema de alimentación

Este subsistema es el encargado de proporcionar la cantidad necesaria de producto y la mezcla ideal para que el proceso de gasificación se ejecute con normalidad. Fue diseñado y estructurado de tal manera que cumpla características que permitan transportar diferentes tipos de biomasa, precisión, carga entre otras variables, el material de construcción y su forma se lo realizó con ayuda de cálculos pretendiendo cumplir con todas las características de diseño y construcción antes mencionadas.

Por otro lado, en este espacio se montará un tablero capaz de controlar el encendido, apagado y variación de velocidad del sistema para facilitar el manejo de quienes lo operen y según el sistema de gasificación necesite de biomasa, considerando elementos de protección tanto al motor como a los operadores, además cuenta con luces piloto que indican voltaje y corriente durante el proceso

y un paro de emergencia en caso de que el proceso detecte alguna falla y el subsistema deba ser parado de manera espontánea, para volver a encender el motor se debe seccionar y conmutar el selector nuevamente para continuar con su funcionamiento manteniendo el proceso idealizado para generar biogás.

Situación inicial del sistema

Por lo que respecta a este apartado se trabaja con el objetivo de conocer las partes que componen el equipo y el estado funcional de cada una de ellas, así como también conocer sus dimensiones y características generales; al realizar la inspección se observaron particularidades tales como: piezas faltantes, instrumentos en mal estado, cables sueltos, corrosión, entre otros. Para este fin se hará uso de un formato que sirva para ordenar y detallar los enunciados mencionados con anterioridad y de esa manera procesar la información con mayor exactitud pues esto se usará más adelante para llevar a cabo otras actividades como el plan de acción, inventario y el plan de mantenimiento preventivo eventualmente.

Estado de situación inicial del subsistema de instrumentación

Al revisar el subsistema de instrumentación se evidenció el deterioro de algunos sensores de temperatura que necesitaban ser reemplazados y otros serán revisado mediante aparatos que brinden la información adecuada sobre su estado.

En adición, se pretende montar un tablero capaz de controlar las medidas de temperatura en las distintas zonas de reacción y a su vez manejar el encendido y apagado de los blowers que intervienen en el sistema, para ejecutar esta acción se presenta el diseño del circuito con los aparatos de protección necesarios para el ensamblaje y conexión de este ítem que será implementado.

Estado de situación inicial del subsistema de alimentación

El subsistema de alimentación no se encontraba dentro del equipo, sin embargo, los elementos que lo constituyen se alojaban en algunos laboratorios dentro de la Facultad de Mecánica. Por consiguiente, se cree necesario la posibilidad de armar un tablero de control capaz de manejar el encendido y apagado del subsistema desde un mismo punto con el fin de automatizar la mayor parte del proceso, debido a la importancia de este apartado dentro del sistema, pues es el encargado

de alimentar el sistema de biomasa para posteriormente ejecutarse el proceso de combustión y a que se den las distintas reacciones.

Plan de acción en los subsistemas

Tras realizar una inspección general del sistema se procedió a desmontar el equipo con la finalidad de cambiar los elementos que necesitaban ser reemplazados e incrementar los que no existían, se realizaron trabajos de acuerdo a las necesidades que se iban presentando con un estimado de fechas para realizar las tareas que sean necesarias en cada subsistema y obtener buenos resultados en la habilitación del sistema.

Plan de acción para el subsistema reactor

Se presentan tareas para el subsistema reactor tratando de contemplar todas aquellas posibilidades de fallo o daño en sus elementos para que éste pueda encontrarse en estado operacional al finalizar la intervención, en adición a ello, se detallan las fechas de intervención de los distintos elementos para facilitar el trabajo de campo realizado paulatinamente según se crea conveniente la disponibilidad de repuestos.

Para este plan de acción se consideran elementos tales como: blower, línea de ingreso de aire, cilindro de combustión y línea de purga con esta división se pretende realizar actividades programadas considerando el tiempo en que se van a adquirir aquellos elementos que van a ser reemplazados y la disponibilidad que representen. Por otro lado, los trabajos de desmontaje y limpieza de elementos se los hará paulatinamente según las necesidades que surjan durante todo el proceso de habilitación del sistema gasificador, sin dejar de lado que las acciones se deben desarrollar conjuntamente con el sistema de filtrado y enfriado del gas síntesis.

Tabla 1. PLAN DE ACCIÓN DEL SUBSISTEMA REACTOR

Elementos	Actividades a realizar
Blower	Adquisición de un blower de 3 in de salida.
	Montaje de estructura de soporte.
	Montaje de blower en soporte
Línea de ingreso de aire	Desmontaje de tubería

	Limpieza interna y externa de elementos como: neplos, válvulas, universales
	Cambio de elementos faltantes
	Montaje de línea de ingreso de aire
Cilindro de combustión	Revisión y limpieza de pernos superiores e inferiores del cilindro
	Revisión y sustitución de peros en compuertas de limpieza
	Sellado de puertas de limpieza para evitar fugas.
	Limpieza interna del cilindro
	Cambio de malla
	Recubrimiento del reactor con pintura apta para temperaturas elevadas.
Línea de purga	Desmontaje de tubería
	Limpieza interna y externa de elementos como: neplos, válvulas, universales
	Cambio de elementos faltantes
	Montaje de línea de purga

Fuente: Elaboración Propia

Plan de acción para el subsistema de instrumentación

Las actividades planteadas en este subsistema van de la mano con el montaje de un tablero de control con controladores de temperatura conectados a las termocuplas y termopares para facilitar la toma de datos de esta variable. Algunos de los sensores de temperatura van a ser reemplazados por otros con característica similares y otros van a ser habilitados con algunos cambios, de igual forma se presentan fechas de intervención considerando la disponibilidad de los elementos de instrumentación usados para dicho fin. El subsistema contempla también el diseño y montaje de un tablero de control para facilitar el proceso de operación del gasificador manejando el encendido y apagado del blower, así como también la toma de datos de temperatura, se estima una fecha para el montaje del tablero analizando la disponibilidad de todos los elementos para su montaje, añadiendo a lo anterior se examinará el sitio adecuando de instalación para que quienes lo manejen puedan hacerlo de forma segura y acertada, contemplando así también, elementos de seguridad tanto para el sistema como para quienes lo manipulen.

Tabla 2. Plan de acción del subsistema reactor

Elementos	Actividades a realizar
Sensores de temperatura	Prueba de funcionamiento de sensores de temperatura Desmontaje de RTDs y termocuplas Limpieza de elementos y reemplazo de los averiados Montaje de sensores
Tablero de control	Diseño de circuito Montaje de elementos intervinientes Elaboración de estructura para el soporte del tablero Montaje del tablero

Fuente: Elaboración Propia

Plan de acción para el subsistema de alimentación

Par este subsistema se han descrito varias actividades que permitirán el montaje y limpieza de elementos que contribuyan al correcto funcionamiento del subsistema de alimentación de biomasa para el sistema gasificador sabiendo que todos los elementos solo se los va a volver a instalar haciendo ciertas modificaciones en la programación del variador de frecuencia que es el elemento que presenta inconvenientes.

Para la elaboración del tablero de control se contemplan actividades como el diseño y el montaje de elementos capaces de controlar lo mencionado anteriormente.

Tabla 3. Plan de acción del subsistema de alimentación

Elementos	Actividades a realizar
Motorreductor	Montaje de motor y reductor
Tolva	Limpieza y revisión de funcionamiento
	Montaje de tolva y cilindro que cubre el eje
Transmisión	Limpieza y revisión de funcionamiento
	Montaje de eje, chumaceras y acople flexible
Tablero de control	Limpieza y revisión de funcionamiento
	Diseño de circuito
	Montaje de elementos intervinientes
	Elaboración de estructura para el soporte del tablero
	Montaje del tablero

Fuente: Elaboración Propia

Resultados

El objetivo principal de este artículo es habilitar el sistema gasificador, para ello se ha establecido un estado de situación inicial y se han anotado algunas tareas de mantenimiento; para ejecutarlas se consideraron características como disponibilidad de elementos y tiempo a continuación se describen los trabajos que se han realizado en los diversos subsistemas.

Iniciando con el sistema reactor se implementó un blower que es el encargado de inyectar agente oxidante al sistema, seguido se montó la línea de ingreso de aire en el que se contemplan accesorios que permitirán la regulación de fluido, del mismo modo se modificó ciertos elementos en el cilindro de combustión y la línea de purga llevando el material contaminante a un mismo punto de almacenamiento.

Para el subsistema de instrumentación se implementaron sensores de temperatura y un tablero en que se puede visualizar el estado en diversos puntos dentro del reactor permitiendo el manejo de datos. Por otro lado, el subsistema de alimentación fue mejorado circunstancialmente permitiendo manejarlo desde un mismo punto y seccionarlo de acuerdo a las necesidades que requiera el proceso.

Subsistema reactor

Se consideraron las tareas establecidas en el plan de acción, a continuación, se detallan las actividades realizadas en cada ítem para la habilitación e implementación de varios elementos que permitan el correcto funcionamiento del subsistema reactor que es el encargado de combustionar la biomasa y convertirla en biogás.

Habilitación del blower

Para empezar con el proceso de habilitación del subsistema reactor se habilitó el blower asentándolo en un soporte adecuado, dicho sea de paso, este elemento es el encargado de proporcionar aire al cilindro de combustión para que se desarrollen las distintas reacciones internas dentro de él. Este aparato fue adquirido y tiene una capacidad de 3 pulgadas que son las adecuadas para ingresar aire al sistema.

Tabla 4. Habilitación del subsistema reactor

Actividades realizadas	Descripción de elementos implementados
1. Montaje de la estructura para blower	Soplador eléctrico
2. Adquisición de un blower	Tamaño:3"
3. Montaje de blower en soporte	Tensión: 110V
	Watts: 250 W
	Ciclos: 60
	Amperes: 3.5 A
	RPM: 2800

Observaciones

Dentro del tablero de control este blower se encuentra etiquetado con la denominación blower 2 ingreso de aire.

Fuente: Elaboración Propia

Habilitación de línea de ingreso de aire

La línea de ingreso de aire fue habilitada de tal modo que el fluido sea inyectado al cilindro de combustión a partir de un blower, sabiendo que fue elaborado con material de PVC, debido a que el aire que ingresa es frío y no necesita de una tubería que soporte calor.

Tabla 5. Habilitación del subsistema reactor

Actividades realizadas	Descripción de elementos implementados
1. Desmontaje de tubería	Línea de ingreso de aire Adaptador H PVC 63mm X 2" Codo PVC presión 63mm X 90° Válvula de esfera PVC E/C 63mm Universales PVC 63mm (2) Tubo PVC E/C 63mm X 0.8 MPa x 6m Buje largo PVC presión E/C 90 X 63mm
2. Limpieza de elementos intervinientes en la conexión	
3. Cambio de elementos	
4. Montaje de línea de ingreso de aire	

Observaciones

A través de la válvula de esfera se puede regular la cantidad de ingreso de aire al cilindro de combustión, permitiendo también el cierre y abertura total.

Fuente: Elaboración Propia

Habilitación del cilindro de combustión

En el cilindro de combustión se realizaron varias actividades particularmente la revisión de pernos, sellado de compuertas, limpieza interna y una de las actividades con más resalte el cambio de malla que se encontraba totalmente corroída y es la encargada de aislar de manera particular el cilindro de combustión.

Tabla 6. Habilitación del cilindro de combustión

Actividades realizadas	Descripción de elementos implementados
1. Revisión y limpieza de pernos	Malla Material: Tol-acero Espesor: 0,9mm
2. Sustitución de pernos en mal estado	
3. Sellado de compuertas de limpieza	
4. Limpieza interna del cilindro	
5. Cambio de malla	
6. Recubrimiento con pintura del cilindro	
Observaciones	
Según las normas internacionales API y ASME se recomienda cubrir con pintura de color aluminio aislados con una lámina para productos calientes de tipo gas.	

Fuente: Elaboración Propia

Habilitación de la línea de purga

La línea de purga dentro del subsistema reactor es importante pues mediante ella desembocan materiales tales como alquitrán y otras impurezas resultado de la combustión interna en el cilindro, cabe mencionar que el conjunto de purgas sale a un mismo punto con el objetivo de realizar estudios posteriores de los residuos que el sistema de gasificación, filtrado y enfriamiento crean finalmente.

Tabla 7. Habilitación de la línea de purga

Actividades realizadas	Descripción de elementos implementados
1. Desmontaje de tubería	Línea de purga Codo HG 1 X 45° Tubo galvanizado ISO II 250mm 1" X 6m Codo HG 1" X 90°
2. Limpieza de elementos	
3. Cambio de elementos	
4. Montaje de línea de purga	

Observaciones

Ninguna

Fuente: Elaboración Propia

Habilitación del subsistema de instrumentación

En lo que respecta al subsistema de instrumentación la mayor parte de este subsistema fue implementado con el afán de que el proceso sea más sistematizado y controlado, es por ello que se montó un tablero de control con sensores capaces de indicar la temperatura de trabajo en las

distintas zonas de reacción. Del mismo modo se instalaron elementos capaces de manejar el encendido y apagado de blowers tanto de inyección de aire como el de enfriamiento del fluido. Los sensores de temperatura instalados en el tablero de control y conectados a los sensores de temperatura que se encuentran en diversos puntos facilitan la toma de datos de temperatura y mejoran la calidad del análisis del gas resultante.

Tabla 8. Habilitación del subsistema de instrumentación - sensores de temperatura

Actividades realizadas	Descripción de elementos implementados
1. Desmontaje de RTDs y termocuplas	RTDs (4) Tipo Pt100
2. Limpieza y reemplazo de elementos	Bulbo:20cm Cable para termocupla
3. Cambio de conductor de termocuplas	Pt100 3 hilos
4. Montaje de sensores	

Observaciones

El cambio de termocuplas se lo hizo en base a las que se utilizaban en los anteriores procesos de funcionamiento del sistema gasificador. Por un lado, en la zona de reducción o gasificación en donde la temperatura oscila entre los 600°C a 1000°C se utilizó termocuplas de tipo J que son capaces de resistir entre -270°C a 1370°C De modo similar la selección de sensores de temperatura para la zona de secado, pirólisis y combustión en donde las temperaturas varían de entre 100°C a 200°C, 300°C a 500°C y 100°C a 300°C respectivamente se eligió el uso de RTDs tipo Pt100 que soportan temperaturas de entre 100°C a 200°C.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9. Habilitación del subsistema de instrumentación – Tablero de control

Actividades realizadas	Descripción de elementos implementados
1. Diseño del circuito	Controladores de temperatura digital 72x72mm, 110-220V, 1200°C
2. Corte de gabinete para elementos	Botonera de fuerza trifásica empotrada ON-OFF, 15 A,
3. Montaje de elementos	Luz piloto voltímetro verde 22mm
4. Construcción de soporte para el tablero	Selector 22mm 2, 2 posiciones con llave, 1NA Breaker 10A, 6KV, 400V Breaker 4A,6KV, 400V
5. Montaje de tablero	Riel Din 35 mm, 1m acero perforado
6. Revisión de elementos	Gabinete metálico 40x40x20cm Cable flexible #18

Observaciones

La conexión y configuración de estos dispositivos se muestra en los circuitos diseñados en el estado de situación inicial.

Fuente: Elaboración Propia

Habilitación del subsistema de alimentación

El subsistema de alimentación es indispensable pues su función es abastecer de biomasa al subsistema reactor que es en dónde se dan las distintas reacciones, se realizaron los montajes de los diferentes elementos existentes, así también se diseñó y elaboró un tablero de control con el fin de manejar el subsistema desde un mismo punto.

Así también, es necesario comprender que este subsistema es el que inicia el proceso de gasificación dentro del sistema general del gasificador pues partimos de alimentar el sistema para posteriormente poner en marcha el subsistema reactor y por consiguiente el de instrumentación que será el que nos brinde los medios necesarios de análisis de temperatura siendo estos 3 subsistemas esenciales en todo proceso de obtención gas sin dejar de ser importante el subsistema de conducción y filtrado para obtener un gas con características y componentes adecuados para usos posteriores.

Para efectuar el montaje del sistema alimentador en el sistema gasificador se consideraron algunos criterios como lo son precio y la adaptación al gasificador, siendo el segundo uno de los criterios más importantes pues se rescata la facilidad de montaje y desmontaje del subsistema. De forma acertada se usó un acople que une al subsistema reactor con el de alimentación sin interferir en su funcionamiento progresivo.

En adición a ello se consideró el factor de precisión tratando de evitar la posibilidad de que se generaran fugas principalmente de gas, mismo que se produce dentro de la cámara de combustión del reactor.

Habilitación del motorreductor

Como se mencionó anteriormente este subsistema existía en bodega, nuestras actividades fueron solo las del montaje oportuno tanto del motor con del reductor. El motorreductor fue seleccionado en base a la potencia que necesita el subsistema para alimentar el sistema siendo de 1 HP y 30 RPM.

Sin embargo, las velocidades que se requieren para que el subsistema de alimentación actúe con total normalidad requiere del uso de un variador de frecuencia que posibilite una alimentación adecuada y pertinente. Al seleccionar un motor y un reductor para un proceso se requiere conocer la potencia que se requiere para llevar a cabo la dosificación de biomasa y la velocidad de giro de la materia prima a utilizar.

Tabla 10. Habilitación del motorreductor

Actividades realizadas	Descripción de elementos implementados
-------------------------------	---

- | | |
|--|--|
| 1. Montaje de motor y reductor | |
| 2. Limpieza y revisión de funcionamiento | |

Observaciones

El sistema necesita de una velocidad de 10 RPM para trabajar de manera adecuada, es por ello que se necesita de un variador de frecuencia.

Fuente: Elaboración Propia

Plan de mantenimiento preventivo del sistema gasificador

Tras la habilitación y puesta en marcha del sistema gasificador, se establecieron tareas de mantenimiento preventivo con el objetivo de valorar y precautelar el funcionamiento del sistema gasificador. En él se detallan tareas y actividades con una frecuencia de ejecución para cada una de ellas. Así también se describe el número de personas que se necesita para la realización de dichos trabajos, además, los materiales que se necesitan. El plan de mantenimiento se muestra en el las tablas 11, 12, y 13, se describen cada una de las tareas propuestas en el plan de mantenimiento preventivo, con una secuencia de pasos y el tiempo estimado.

Tabla 11. Plan de mantenimiento preventivo - subsistema reactor

Nombre del subsistema: Reactor			Código: ESPOCH01_FMAGB_SG_SR	
Equipo	Tarea	Frecuencia (horas)	Responsable	Instrumentos o herramientas a utilizar
Blower	Revisión de carcasa, paletas, limpieza de polvo.	200	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaipe, brocha y caja de herramientas
Blower	Revisión y ajuste de pernos de sujeción	100	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaipe, brocha y caja de herramientas
Línea de ingreso de aire	Revisión y limpieza de tubería y accesorios	50	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaipe, brocha y caja de herramientas
Cilindro de combustión	Revisión de pernos, fugas de gas, fugas de calor	25	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaipe, brocha y caja de herramientas
Cilindro de combustión	Inspección de material refractario y malla	200	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaipe, brocha y caja de herramientas
Cilindro de combustión	Limpieza interna de residuos de biomasa	10	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaipe, brocha, saquillos y caja de herramientas
Línea de purga	Revisión y limpieza de accesorios como: tubo, codos y válvulas	100	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaipe, brocha, saquillos y caja de herramientas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12. Plan de mantenimiento preventivo - subsistema de instrumentación

Nombre del subsistema: Instrumentación			Código: ESPOCH01_FMAGB_SG_SIC	
Equipo	Tarea	Frecuencia (horas)	Responsable	Instrumentos o herramientas a utilizar
Sensores de temperatura	Apretar y sostener las termocuplas en los termopozos.	100	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha y caja de herramientas
Sensores de temperatura	Inspeccionar y evitar la condensación de humedad e ingreso de líquido en los cabezales.	200	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha y caja de herramientas
Sensores de temperatura	Revisar los terminales de conexión y mantenerlos limpios y libres de óxido.	100	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha y caja de herramientas
Tablero de control	Limpieza de impurezas que signifiquen suciedad.	100	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha y caja de herramientas, blower
Tablero de control	Verificación del rotulado de los diagramas y leyendas del circuito.	300	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha y caja de herramientas
Tablero de control	Inspeccionar el estado de elementos y registrar anomalías.	100	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha y caja de herramientas
Tablero de control	Reapretar los tornillos de los elementos intervinientes y organizar el cableado.	100	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha y caja de herramientas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13. Plan de mantenimiento preventivo - subsistema de alimentación

Nombre del subsistema: Alimentador		Código: ESPOCH01_FMAGB_SG_SA		
Equipo	Tarea	Frecuencia (horas)	Responsable	Instrumentos o herramientas a utilizar
Motorreductor	Revisión de pérdidas de aceite, particularmente en la zona de retenes.	100	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha y caja de herramientas
Motorreductor	Limpieza externa e interna de orificios en el tapón de ventilación.	50	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha y caja de herramientas
Motorreductor	Cambiar de aceite	100	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha y caja de herramientas
Transmisión	Lubricación de chumaceras	100	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha y caja de herramientas
Transmisión	Revisión de alineación de eje	50	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha y caja de herramientas
Tolva	Revisión y limpieza de tolva y tornillo sin fin por el alquitrán y ceniza producto de la combustión.	25	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha y caja de herramientas
Tablero control	de Limpieza y aspiración de impurezas que signifiquen suciedad.	100	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha, saquillos y caja de herramientas
Tablero control	de Verificación del rotulado de los diagramas y leyendas del circuito.	100	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha, saquillos y caja de herramientas
Tablero control	de Inspeccionar el estado de elementos y registrar anomalías.	100	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha, saquillos y caja de herramientas
Tablero control	de Reapretar los tornillos de los elementos intervinientes y organizar el cableado.	100	Encargados de realizar prácticas en el área de generación de biogás de la Facultad de Mecánica	Guaípe, brocha, saquillos y caja de herramientas

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones

Como resultado del mantenimiento y puesta en marcha del gasificador tipo Downdraft de la Facultad de Mecánica se cumplieron los objetivos planteados inicialmente, siendo un ejemplo de ello la obtención de un gas pobre tras el proceso respectivo de combustión y filtración a través de materia prima renovable amigable con el planeta y permitiéndose ser un indicador de generación de energía eléctrica y térmica.

Durante la habilitación del gasificador se repararon elementos en mal estado e implementaron otros que mejoraron el proceso general, esto a través del planteamiento del estado de situación inicial del sistema, que facilitó el acondicionamiento del gasificador incluyendo los subsistemas de alimentación, reacción, instrumentación, filtración, conducción y eléctrico.

Al efectuar la puesta en marcha del sistema gasificador contemplando sus diversos subsistemas se pudo apreciar un syngas con características adecuadas de uso conjuntamente con sus componentes inherentes, particularidades que se comprobaron al encender el gas logrando una llama busen de color amarillo rojizo brillante.

Por otro lado, se mejoró el control del subsistema de alimentación antes diseñado, para lograrlo se montó un tablero de control con indicadores de voltaje, frecuencia y amperaje del motorreductor para de esta forma manejar de manera acertada la distribución de biomasa, así mismo se mejoró el control de temperatura.

Finalmente, se elaboró un plan de mantenimiento preventivo para precautelar el correcto funcionamiento del sistema gasificador para que sirva de ayuda para quienes lo manipulen más adelante, se consideraron tareas y procesos sencillos pero indispensables para que el sistema cumpla con su función original que es la de generar syngas a partir de biomasa.

Referencias

1. Alvarez, María. Enseñanza de las reacciones químicas a través de metodologías activas para 3° de E.S.O en el contexto de la vida cotidiana (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Pública de Navarra, Facultad de Ciencias Humanas. 2021. pp. 54-59
2. Antar, Mohammed, LYU, Dongmei, NAZARI, Mahtab, SHAH, Ateeq, ZHOU, Xiaomin and SMITH, Donald L. "Biomass for a sustainable bioeconomy: An overview of world biomass production and utilization". Renewable and Sustainable Energy Reviews [en

- línea], 2021(Canadá) 139, pp. 110691. [Consulta: 15 julio 2022]. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2020.110691. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110691>
3. Blanco, Napoleón. “Selección de gasificador para la generación de energía eléctrica a pequeña escala empleando biomasa agrícola” *Nexo Revista Científica* [en línea], 2021(Nicaragua) 34(2), pp. 616–624. [Consulta: 14 julio 2022]. ISSN 1995-9516. Disponible en: <https://doi.org/10.5377/nexo.v34i02.11547>
 4. Boris, German. Ecuador y los Biocombustibles. *Petroenergía* [blog], [Consulta: 19 abril 5. 2022]. Disponible en: <https://www.petroenergia.info/post/ecuador-y-los-biocombustibles>
 6. Brites, Carlos D.S., BALABHADRA, Sangeetha and CARLOS, Luís D. “Lanthanide-Based Thermometers: At the Cutting-Edge of Luminescence Thermometry”. *Advanced Optical Materials* [en línea], 2019 7(5), pp. 1801239. [Consulta: 14 julio 2022]. ISSN 2195-1071. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/adom.201801239>
 7. Buñay, Samuel. Arranque de un grupo electrógeno Otto usando el gas de síntesis del gasificador Downdraft acondicionados como un sistema de micro generación eléctrica para fines didácticos [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería), Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Ecuador. 2019. pp.33-35. [Consulta 2022-04-18]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12702>
 8. He, Qing, GUO, Qinghua, UMEKI, Kentaro, DING, Lu, WANG, Fuchen and YU, Guangsu. “Soot formation during biomass gasification: A critical review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], 2021(China) 139, pp. 110710. ISSN 13640321. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110710>
 9. Herrera, Raúl. Análisis térmico de un gasificador tipo Downdraft al combustionar residuos forestales [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2019. pp. 20-25 [Consulta: 27-04-2022]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/13243>
 10. ISO 14224:2016. Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural — recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. Parte 6: calidad de datos
 11. Jahromi, Reza, REZAEI, Mahdi, HASHEM SAMADI, Seyed and JAHROMI, Hossein. “Biomass gasification in a Downdraft fixed-bed gasifier: Optimization of operating conditions”. *Chemical Engineering Science*, 2021, vol. 231, pp. 116249. ISSN 00092509. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.116249>

12. Legrand. Tableros a norma. [blog], [Consulta: 28 abril 2022]. Disponible en: <https://www.legrand.cl/>
13. Muñoz, Mario. “Gasificación y torrefacción de residuos agrícolas de la cosecha de caña, tecnologías para diversificar los biocombustibles de la agroindustria azucarera”. ResearchGate [en línea], 2019, (Guatemala), pp. 2-4. [Consulta 2022-04-19]. S.I. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/337445412_GASIFICACION_Y_TORREFACCION_DE_RESIDUOS_AGRICOLAS_DE_LA_COSECHA_DE_CANA_TECNOLOGIAS_PARA_DIVERSIFICAR_LOS_BIOCOMBUSTIBLES_DE_LA_AGROINDUSTRIA_AZUCARERA
14. Murugan, P.C. and JOSEPH SEKHAR, S. “Investigation on the yield of producer gas from tamarind shell (Tamarindus Indica) as feedstock in an Imbert type biomass gasifier”. Fuel [en línea], 2021, (India), 292, pp. 120310. [Consulta 2022-04-19]. ISSN 00162361. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120310>
15. Patuzzi, Francesco, BASSO, Daniele, VAKALIS, Stergios, ANTOLINI, Daniele, PIAZZI, Stefano, BENEDETTI, Vittoria, CORDIOLI, Eleonora and BARATIERI, Marco. “State-of-the-art of small-scale biomass gasification systems: An extensive and unique monitoring review”. Energy [en línea], 2021, (Italia) 223, pp. 120039. [Consulta 2022-04-19]. ISSN 03605442. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120039>
16. Pérez, Juan, DIAZ, Óscar, OBANDO, Roberto and MOLINA, Alejandro. “Diseño conceptual de un gasificador de biomasa de lecho fijo en equicorriente a escala piloto” Tecnológicas [en línea], 2009, (Colombia), (22), pp. 121-140 [Consulta: 23 April 2022]. ISSN 0123-7799. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234314008.pdf>
17. Proenza, Néstor. “Gas Pobre: Factibilidad de su uso en los motores, ZIL – 130” Redalyc.org [en línea], 2011, 32(3), p. 1-8. [Consulta: 21 April 2022]. ISSN 1815-5901 Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329127748001>
18. Ramos, A., Monteiro, E., & Rouboa, A. “Numerical approaches and comprehensive models for gasification process: A review”. Renewable and Sustainable Energy Reviews [en línea], 2019, (Portugal) 110. p. 188–206. [Consulta: 22

April 2022]. S.l. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.048>

19. Safarian, S., Unnpórsson, R., & Richter, C. “A review of biomass gasification modelling”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], 2019, (Islandia) 110, p. 378–391. [Consulta: 22 April 2022]. S.l. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.003>
20. Salomon, C. P., Ferreira, C., Sant’Ana, W. C., Lambert-Torres, G., da Silva, L. E. B., Bonaldi, E. L., de Lacerda de Oliveira, L. E., & Torres, B. S. “A study of fault diagnosis based on electrical signature analysis for synchronous generators predictive maintenance in bulk electric systems”. *Energies* [en línea], 2019, 12(8), p. 1-30. [Consulta: 22 April 2022]. ISSN 1506. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en12081506>
21. UNE-EN 13306: 2018. Terminología del Mantenimiento. Parte 2: Términos fundamentales
22. Wu, J. A Basic Guide to Thermocouple Measurements Application Report A Basic Guide to Thermocouple Measurements. [blog]. [Consulta: 21 April 2022]. S.l. Disponible en: https://www.ti.com/lit/an/sbaa274/sbaa274.pdf?ts=1661041689061&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).